

# Uso de modelos e protótipos para auxílio na análise da sustentabilidade no *Design* de Produtos

Paulo Cesar Machado Ferroli (UFSC-SC/Brasil) - ferroli@cce.ufsc.br  
• UFSC - Campus Universitário Reitor João David Ferreira Lima, Trindade, Florianópolis-SC, CEP 88040-970, sala 219  
Lisiane Ilha Librelotto (UFSC-SC/Brasil) - lisiane.librelotto@arq.ufsc.br

**RESUMO** O conceito moderno de sustentabilidade reescreve de modo geral o conceito de *design*. A evolução nas abordagens dos programas de qualidade e produtividade fez com que o conceito de melhoria contínua tomasse um novo aspecto. O respeito à natureza, considerado como diferencial no final do século passado, adquire um caráter distinto: agora é obrigatório. Contudo, no cerne da atividade de *design*, está a constante inovação, a satisfação dos desejos dos clientes e a oferta contínua de novos produtos, objetivando a conquista do público-alvo. Aliar essa necessidade com a questão ambiental é muito complexo, pois em primeiro momento o *eco-design* prioriza a redução, o aumento do ciclo de vida dos produtos, o reaproveitamento e a reciclagem, por exemplo. Ou seja, parecem conceitos opostos. Na busca por tentar conseguir um equilíbrio entre os conceitos, surge a sustentabilidade, mais ampla do que somente o *eco-design*, pois engloba as questões econômicas, sociais e ambientais em um mesmo patamar de importância. O trabalho atual pretende contribuir nessa discussão mostrando a aplicação dos conceitos da sustentabilidade aplicados em projeto, mediante a experimentação em modelos e protótipos.

**Palavras-chave** Modelos; Protótipos; Sustentabilidade, *Design*.

**ABSTRACT** *The modern concept of sustainability is rewriting the concept of design. The evolution of the approach to quality and productivity programs has given a new dimension to the concept of continuous development. Until the end of last century, taking the environmental sustainability in a project into consideration was considered a positive addition, but now it has acquired a different aspect: it is mandatory. Nonetheless, the core of design activity aims at meeting certain needs: the need of constant innovation, the need of satisfying the customers and the need to continuously offer new products to those target customers. Allying those needs to the environmental issue in order to achieve an eco-design is highly complex, as it involves reducing the use of raw materials, extending the products' lifecycle; reusing and recycling some materials; just to mention some practical examples. Taking this into consideration, the terms design and eco-design seem like opposing concepts. Seeking for a balance between such concepts, the term sustainability arises, for as it carries a wider meaning than both either of the previous terms. Sustainability implies that three aspects of an this issue are approached with equal importance: the environmental aspect, the social aspect and the economic aspect. This present work intends to contribute to this debate by demonstrating the concepts of sustainability applied to a project, through model and prototype experiments.*

**Keywords** *Prototypes; Models; Sustainability; Design.*

## 1. INTRODUÇÃO

*Design* (projeto) de novos produtos é uma atividade complexa, que reúne conhecimentos gerais e específicos de várias áreas. Caracterizando-se por sua multidisciplinaridade, engloba e correlaciona fatores estéticos, mercadológicos, financeiros, ecológicos, produtivos e ergonômicos, dentre outros (FERROLI, 2009).

Como parte integrante da atividade projetual, tem-se os modelos volumétricos, que são basicamente representações tridimensionais de objetos ou produtos em fase de desenvolvimento, simulando determinadas propriedades dos objetos em estudo, e assim permitindo a correção de possíveis defeitos e insuficiências do produto durante as etapas de projeto (PENNA, 2002). Esta representação dos objetos projetados através de modelos pode ser realizada nos meios físico ou virtual.

Segundo Manzini e Vezzoli (2008), *design* de produtos deve ser entendido de acordo com seu significado amplo e atual, não se aplicando apenas ao produto físico (definido por material, forma e função), mas estendendo-se ao sistema – produto, ou seja, ao conjunto integrado de produto, serviço e comunicação. Dentro dessa linha de pensamento os autores destacam que o *design* é a atividade que deve “ligar” o tecnicamente possível com o ecologicamente necessário atuando dentro de quatro níveis de interferência: *redesign* ambiental de produtos já existentes; projeto de novos produtos para substituição dos atuais; projeto de novos produtos – serviços intrinsecamente sustentáveis; e proposta de novos cenários para um novo estilo de vida sustentável.

Neste contexto, observa-se que, até o momento, a atuação profissional dos envolvidos em atividades projetuais está, quase na totalidade dos casos, restrita aos dois primeiros níveis, que, embora útil e necessário, é insuficiente para atingir a sustentabilidade ambiental, garantida apenas pelos outros dois níveis (*Design for Sustainability*). Há, portanto, uma necessidade de alteração comportamental na atividade de projeto, passando a focar mudanças de paradigmas toda vez que se faz o projeto de um novo produto.

A incorporação da variável sustentabilidade em atividades projetuais é assunto consideravelmente debatido na atualidade, sendo consenso entre os autores da área que a sustentabilidade deve ser alicerçada (para que tenha efeito permanente e não apenas esporádico ou superficial), na união das três dimensões básicas: econômica, social e ambiental. A forma de gerir a sustentabilidade, nestas três dimensões, está expressa no modelo ESA (LIBRELOTTO, 2009). Esta forma de gestão deve englobar também o projeto. Inserir os preceitos da sustentabilidade no projeto é a única solução possível para que ocorra a união entre a filosofia da melhoria contínua com a necessidade cada vez maior da preservação dos recursos naturais, qualidade de vida do homem e ao capitalismo vigente.

Tendo em vista que os conceitos relacionados à sustentabilidade são relativamente novos, a principal problemática de sua incorporação na atividade projetual reside em dois tópicos principais: (1) a pouca disponibilidade de informações referentes à aplicação em casos reais das variáveis econômicas, sociais e ambientais da sustentabilidade em projeto de produtos; e (2) a verificação de confiabilidade de algumas aplicações, tendo em vista o fato de vários estudos de casos não virem necessariamente acompanhados de validação pertinente. Como forma de integrar a sustentabilidade na atividade projetual, sobretudo nas etapas de modelagem, o objetivo geral da pesquisa relatada neste artigo foi demonstrar a importância do uso dos modelos volumétricos para análise da sustentabilidade, considerando as variáveis da sustentabilidade descritas no modelo ESA.

Esse artigo está estruturado do seguinte modo: inicialmente uma breve revisão bibliográfica abordando os assuntos de *design*, sustentabilidade e ferramentas projetuais com ênfase ambiental; na seqüência apresenta-se o estudo de caso mediante a pesquisa de campo, com posterior elaboração e aplicação de ferramentas projetuais em modelos e protótipos.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Embora na indústria, engenheiros e projetistas tenham debatido o assunto ambiental, isso era realizado de modo superficial, muitas vezes apenas para cumprir um protocolo. A evolução dos processos fabris e produtivos continuava, e eventos importantes surgiram, destacando-se na cronologia:

- o emprego da metodologia científica no processo de produção, integrando as áreas de administração e engenharia, por Taylor;
- a inclusão da preocupação ergonômica em projetos de produtos e ambientes fabris, iniciada timidamente através do movimento *werkbund*, na Alemanha e evoluindo para o conceito de ergonomia de produto a partir de 1950;
- os princípios da qualidade e a qualidade total, através de suas diversas correntes (gestão da qualidade total, gestão da produtividade total, gestão dos custos total, gestão da tecnologia total, gestão dos recursos total) e de suas várias ferramentas (Diagrama de Pareto, Ciclo PDCA, 5S, Diagrama de Causa-Efeito, Histograma, etc.) principalmente pelos trabalhos de W. E. Deming, Kaoru Ishikawa, Philip B. Crosby, Armand Feigenbaum e Joseph W. Juran;
- a globalização da economia e as associações internacionais de comércio forçando (ou tentando forçar) uma padronização internacional; dentre outras.

A conseqüência básica mais aceita desses fatores foi uma alteração do modo como o conhecimento necessário aos profissionais de projeto precisava ser transmitido e aplicado, mudando-se o paradigma informativo para o do conhecimento obtido através da pesquisa. Desse modo, os métodos e ferramentas de projeto desenvolvidos optaram por um maior grau de liberdade nas etapas iniciais de projeto (onde a criatividade é alimentada por técnicas específicas), aumentando as “restrições” à medida que o projeto evolui para os estágios finais, favorecendo a integração multidisciplinar.

Para Back *et al.* (2008, p. 562),

[...] entre as diversas denominações relacionadas ao projeto para meio ambiente encontram-se: projeto para reciclagem; projeto para descarte; projeto para desmontagem; projeto para remanufatura; projeto para mínimo consumo de energia; projeto para sustentabilidade; e projeto para o fim de vida do produto. Entre essas denominações, existem pequenas diferenças de enfoques, mas, em geral, o requisito fundamental é minimizar a utilização de recursos naturais, geração de resíduos, riscos à segurança e à saúde e a degradação ecológica.

Pahl *et al.* (2005, p. 244), na abordagem de projeto considerando reciclagem, sugerem:

[...] para a economia e o reaproveitamento de matérias-primas, no sentido de um comportamento ecologicamente sustentável, podem ser consideradas as seguintes alternativas: menor utilização de material por meio de um melhor aproveitamento do material e menos desperdício de produção; substituição das peças fabricadas com matérias-primas escassas e, portanto, mais custosas, por outras fabricadas com matérias-primas mais baratas e disponíveis por mais tempo; reciclagem por retorno dos refugos de produção, do produto ou dos componentes de um produto para reutilização ou retrabalho.

Callister Jr. (2006) associa a importância da seleção de materiais no ciclo de vida do produto, avaliando as diversas inter-relações projetuais como impactos sobre o meio ambiente, efeitos sobre a ecologia, saúde humana e reservas de recursos, dentre outros. Logo, percebe-se um campo amplo de atuação integrando as variáveis da sustentabilidade contidas no modelo ESA, passando a atividade de *design* a ter a inclusão das variáveis ambientais, econômicas e sociais de forma integrada no projeto de produtos.

Em Santos (2000), são encontrados diversos conceitos de *design*. Um dos mais interessantes é de Chermayeff que diz que, “[...] às vezes, fazer *design* é não fazer muita coisa, apenas identificar um problema e torná-lo mais simples” (CHERMAYEFF *apud* SANTOS, 2000, p. 20). Depois de uma revisão conceitual, Santos (2000) afirma ser o *design* um sistema processador de informações, onde existe uma entrada e uma saída. Neste sistema, tanto os insumos quanto os resultados obtidos são informações, ou seja, o processo de *design* é alimentado por informações de várias áreas (engenharia, produção, ergonomia, *marketing*, sociologia, economia, entre outros), e após o processamento, serão obtidas mais informações, que permitirão posicionar o produto projetado no mercado frente a concorrentes e consumidores. Essa abordagem evoluiu para a metodologia projetual conhecida como MD3E (Método de Desdobramento em 3 Etapas) ou Método Aberto de *Design* (SANTOS, 2005), conforme ilustra o Quadro 1.

Quadro 1 – Metodologia MD3E.



Fonte: Santos (2005).

Nessas definições apresentadas para *design*, observa-se o sentido da palavra qualidade envolvendo o processo de *design*, assim como a integração da sustentabilidade, se não no todo, parcialmente inserida na acepção. Ou seja, a busca de procedimentos sistemáticos ligados ao projeto tem por objetivo, claramente, a melhoria da qualidade do atendimento das necessidades das pessoas, obtido pela solução de um problema específico mediante o projeto de um produto. A solução, por sua vez, contempla a satisfação às necessidades considerando-se questões sociais, ambientais e econômicas.

Para Baxter (2000), as atividades de desenvolvimento de um novo produto requerem pesquisa, planejamento cuidadoso, controle meticuloso e uso de métodos sistemáticos, exigindo uma abordagem interdisciplinar (atividades de *marketing*, engenharia de produtos e processos, aplicação de conhecimentos sobre estética e estilo, etc.). Neste processo, torna-se necessário a integração entre as ciências sócio-econômicas, tecnologia e arte aplicada, que tenha como resultado um produto equilibrado.

A integração a que o autor se refere só pode ser obtida em um ambiente que prime pela melhoria contínua, cuja expressão original *kaizen* é a base filosófica da qualidade total e sua evolução é a gestão da qualidade total, que busca a perfeita integração entre o projeto, a produção e o produto final.

Nesse caso, envolve-se as cinco maiores diretrizes dos estudos da qualidade total, que, separadamente não obtiveram o sucesso esperado nos anos 1980, mas, quando combinados em uma gestão de melhoria contínua, proporcionaram a evolução conceitual na qual a gestão do *design* se sustenta. As cinco diretrizes são: gestão da qualidade total, gestão da produtividade total, gestão dos custos total, gestão da tecnologia total e gestão dos recursos total, conforme encontrado em Harrington & Harrington (1998). Pode-se acrescentar a esta pirâmide, sem medo de errar, a gestão da sustentabilidade total.

Dessa maneira, a integração mostra que o processo de *design*, em um ambiente que busque a garantia da satisfação do usuário mediante uma abordagem da sustentabilidade total deve envolver alguns critérios fundamentais, interdependentes entre si, mas com características únicas e inseparáveis (FERROLI, 2009):

- Critérios fabris e produtivos: o *designer* precisa estar em constante comunicação com os profissionais da área fabril, pois o projeto deve originar um produto fabricável, respeitando muitas vezes restrições referentes a materiais a serem usados (disponibilidade, por exemplo), métodos de fabricação disponíveis, máquinas (incluindo equipamentos, ferramentas, dispositivos, bancadas) necessários para a produção, produtividade desejada durante todas as fases do ciclo de vida do produto, flexibilidade produtiva necessária para o atendimento de mudanças comportamentais do consumidor, entre outros;
- Critérios mercadológicos e sociais: a influência destes critérios é visível, observando-se que todo e qualquer produto é projetado para atender a necessidades e desejos de um público. Para isso, aspectos referentes à regionalização e expectativas próprias de cada população influenciam tanto quanto critérios mais técnicos. Aqui também se observa uma grande responsabilidade por parte do *marketing* do produto e, também, a necessidade da observação contínua dos produtos concorrentes, com aspectos referentes à vigilância tecnológica, novas tendências de materiais, formas, cores e estilos, dentre outros;
- Critérios financeiros e econômicos: o conhecimento dos processos fabris e das características mercadológicas pela equipe de *design* é imprescindível para uma boa análise dos critérios relacionados à questão dos custos. Especialmente porque fatores como aquisição de maquinário, projetos de dispositivos / ferramental complementar de chão de fábrica, treinamentos e capacitações da mão-de-obra podem até inviabilizar um produto ao torná-lo inacessível financeiramente ao público-alvo a que se destina. Reconhecidamente, os custos de um projeto aumentam acompanhando a curva de projeto, ou seja, alterações no início do projeto são, em geral, fáceis de serem realizadas, mais rápidas e pouco onerosas em comparação com alterações nas fases finais de projeto, onde já podem ter ocorrido gastos com treinamentos específicos da mão-de-obra, compras de matéria-prima, aquisições de maquinário, gastos com pesquisas, etc. Outro fator relevante nessa análise diz respeito ao custo dos materiais que serão utilizados no produto, bem como aos gastos de processamento (energia elétrica, água, controle de resíduos, tratamentos superficiais e térmicos, dentre outros).
- Critérios estéticos e de apresentação do produto: a primeira relação do usuário com o produto que está adquirindo é visual. A maioria das pessoas, quando escolhem um calçado, por exemplo, o fazem pela questão estética. Posteriormente, aquela primeira impressão pode ser modificada por outros critérios, como por exemplo, a sensação de conforto proporcionado ao calçar ou caminhar (fatores ergonômicos), a tendência da “moda” atual (que pode influenciar desde detalhes, cores, até o material empregado no produto) e o próprio preço do produto (fatores financeiros). Esses fatores citados como exemplo podem alterar a escolha inicial. Nas questões projetuais, leva-se em consideração os aspectos relacionados às tendências em formas, estilos, cores, dentre outras.
- Critérios ergonômicos e de segurança do produto: um dos aspectos fundamentais de satisfação dos usuários é o conforto proporcionado pelo uso do produto. O *designer* precisa estar atento à integração projetual, de maneira que seu produto apresente-se o mais seguro e confortável ao uso possível. Neste aspecto, leva-se em conta não somente a segurança do produto em si, mas também o relacionamento do chamado “mau uso” do produto ou uso inesperado, no qual os usuários utilizam o produto em situações não lógicas. No entanto, o *designer* é responsável também pela segurança do seu público-alvo e deve prover seu produto de incrementos tecnológicos que promovam sua confiabilidade total, evitando que o usuário sofra algum dano ou acidente, mesmo que este esteja usando o produto de maneira inadequada. Os aspectos ergonômicos, como medidas antropométricas, biomecânica e cognição (por exemplo), devem ser testados em diferentes momentos do projeto, através de simulações físicas e virtuais.

- Critérios ecológicos e ambientais: são os fatores inseridos no chamado *eco-design*. No entanto, deve-se tomar o cuidado de que esses fatores aqui incluídos não sejam considerados como sustentabilidade, visto que a sustentabilidade engloba aspectos mais amplos, de todo o PDP (Processo de Desenvolvimento de Produto) nos moldes do modelo ESA (Sustentabilidade Econômica, Social e Ambiental), como estabelece Librelotto (2009). Portanto nesse agrupamento os critérios considerados serão, basicamente: índices de reciclabilidade dos materiais empregados; a questão da possível reutilização destes; a redução de componentes e gastos energéticos (incluindo a água); a análise total do ciclo de vida (tanto do projeto como do produto em si) e assim por diante.

Estes critérios, se agrupados de forma diferente, contemplam a tríade ESA da sustentabilidade e devem ser analisados pelo projetista considerando-se o ciclo de vida do produto.

## 2.1. O uso de modelos físicos em *design* de produtos

Os modelos, de forma geral, são usados em diversas etapas do desenvolvimento de novos produtos. Podem ser um excelente meio para apresentar o novo produto aos consumidores potenciais e outras pessoas da empresa. Podem ajudar o *designer* a desenvolver novas ideias, principalmente quando se trata de produtos com complexidade tridimensional, que dificilmente seriam visualizados em papel ou na tela do computador. Eles podem ser usados também para visualizar a integração entre os diversos componentes do produto.

À medida que acontece o desenvolvimento do produto, as informações aumentam e os riscos tendem a diminuir; surgem necessidades de respostas a questões mais específicas. Neste ponto, pode-se aumentar a sofisticação e complexidade dos modelos/protótipos.

Os modelos físicos são representações tridimensionais de objetos ou produtos em fase de desenvolvimento. Servem para simular determinadas propriedades dos objetos em estudo, permitindo corrigir defeitos e insuficiências do produto durante as etapas de projeto. Os modelos podem servir para gerar os moldes ou matrizes que irão produzir os objetos; para avaliar o desempenho dos produtos no uso a que se destinam antes de serem produzidos industrialmente ou ainda para estudar as reações do mercado ao produto, antes que este entre em processo de produção, como ilustra a Figura 1.

Figura 1 – Moldes de silicone.



Fonte: Ferroli e Librelotto (2011).

Sucintamente, os modelos físicos em *design* de produto são classificados do seguinte modo:

- Modelos preliminares: também chamados de pré-modelos, são quase que exclusivos para avaliação volumétrica. São gerados a partir de um esboço ou estudo preliminar e podem ser executados em qualquer material, que não tenha relação com o produto final. Nestes, não são considerados detalhes formais, estruturais ou construtivos. Os materiais geralmente empregados neste tipo de modelos devem ser de baixo custo, recicláveis ou descartáveis, de fácil manuseio e que permitam alterações formais rápidas. A Figura 2 apresenta um exemplo de modelo construído pela técnica do empilhamento, utilizando-se nele papel do tipo Paraná.

Figura 2 – Exemplo de modelos preliminares.



Fonte: Ferroli e Librelotto (2011).

- *Mock-up*: ou modelo experimental. Realizado em escala natural (1:1), é usado para testes ergonômicos, funcionais ou verificação de níveis de acabamento e/ou testes. Podem ser realizados de diversos materiais, dentre eles chapas finas de PS (Poliestireno), chapas finas de PP (Polipropileno), chapas finas de PEAD (Polietileno de Alta densidade), chapas finas de madeiras transformadas (MDF principalmente), além dos já mencionados nos modelos preliminares, com maior grau de fidelidade. A Figura 3 mostra um exemplo de *mock-up*.

Figura 3 – Exemplo de *mock-up*.



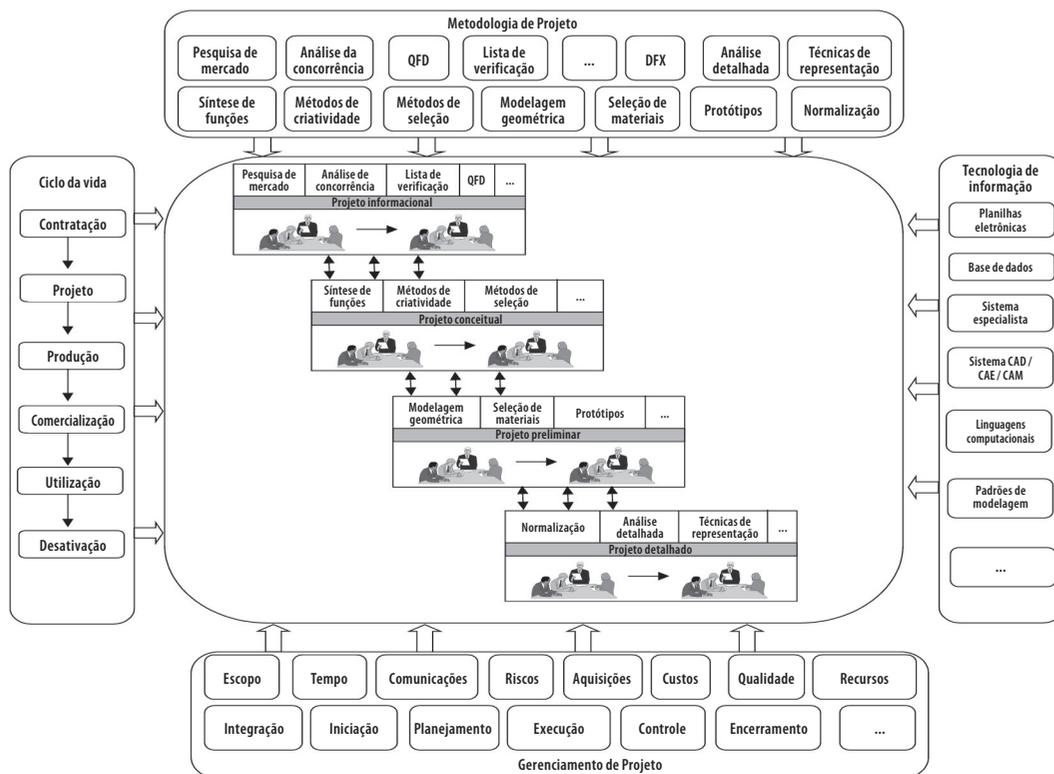
Fonte: Loffy (2005).

- Modelo em escala reduzida ou maquete: são usados, como o próprio nome indica, para escalas reduzidas dos projetos, principalmente usados pela Arquitetura e Engenharia. São usados basicamente para promoção do produto, estudo de cores, avaliação de formas, testes de aerodinâmica, etc..
- Protótipo: significa o primeiro de um tipo. É uma das últimas etapas de um projeto, devendo ser realizado em escala natural, de modo absolutamente igual ao produto final, ou seja, utilizando inclusive os mesmos materiais e acabamentos superficiais, devendo funcionar adequadamente. Sua confecção pode ser artesanal ou industrial. O protótipo também serve para “disparar” a produção em série.

Independente do método projetual adotado, o uso da modelagem está presente em várias etapas do processo de *design*. Back *et al.* (2008) mostram a estrutura de um processo projetual, onde pode-se perceber a importância e o momento adequado de utilização de modelos e protótipos (Figura 4). A mesma abordagem é mostrada em Rozenfeld *et al.* (2006), ilustrada na Figura 5.

Observa-se, na Figura 4, que os autores colocam o uso de protótipos como uma das atividades de projeto preliminar. No entanto, isso não significa que o *designer* não usará modelos de menor complexidade em etapas anteriores (projeto informacional e projeto conceitual), como está representado ao integrar-se o uso de modelos e protótipos como integrantes da metodologia de projeto. Na etapa de projeto informacional, por exemplo, ao final da aplicação do QFD, pode ser muito útil o emprego de modelos volumétricos e de estudos formais (detalhes estéticos, cores, texturas, etc.). Do mesmo modo, durante a etapa descrita como projeto detalhado pode-se recorrer, sempre que necessário, ao emprego de modelos simples, detalhados, funcionais ou mesmo protótipos.

Figura 4 – Estrutura de projeto.

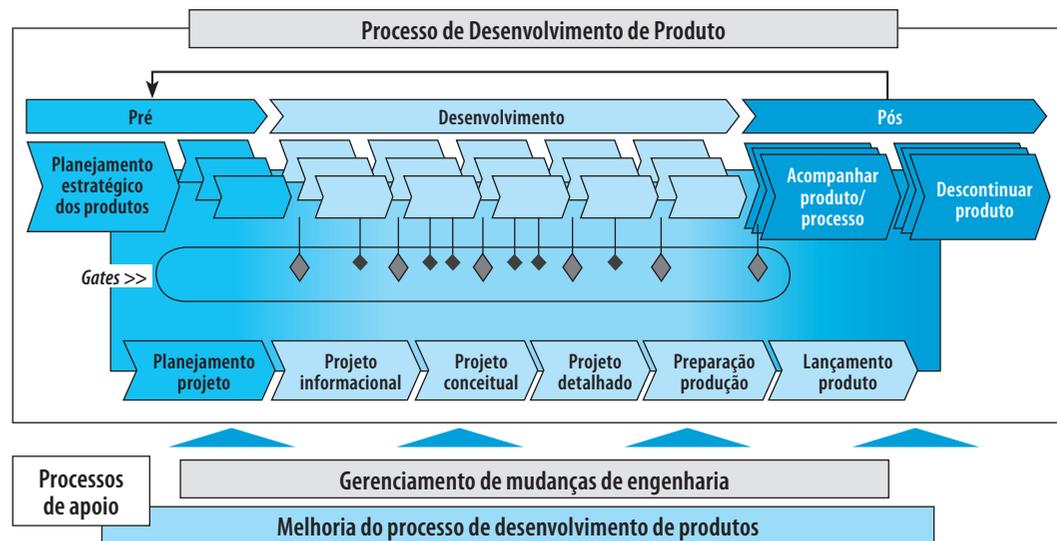


Fonte: Adaptado de Back *et al.* (2008).

Cabe ressaltar que nem sempre é necessário o emprego de um modelo ou protótipo físico, podendo o estudo ser realizado de modo virtual.

Na Figura 5 divide-se o processo projetual em cinco etapas: projeto informacional, projeto conceitual, projeto detalhado, preparação para produção e lançamento do produto, ao invés das quatro propostas anteriormente. De acordo com Rozenfeld *et al.* (2006), a utilização de modelos e protótipos deve ser adequada à complexidade e fatores relevantes a cada projeto específico.

Figura 5 – Processo de Desenvolvimento de Produto.



Fonte: Rozenfeld *et al.* (2006).

### 3. SUSTENTABILIDADE APLICADA EM MODELOS VOLUMÉTRICOS

A garantia da sustentabilidade envolve o equilíbrio entre três dimensões: econômica, social e ambiental. Assim, deve-se buscar o lucro que permita a satisfação dos interesses de todos os intervenientes do processo: os investidores devem ter o retorno financeiro, a comunidade local deve usufruir dos benefícios da atividade empresarial, os funcionários devem ter seu retorno em qualidade de vida e equidade social, e tudo isso, não deve prejudicar (ou pelo menos os impactos devem ser minimizados) o meio ambiente, do qual todos necessitam para sobreviver.

Tal realidade sustentável parece um pouco distante, assim como eram os conceitos da qualidade total e a preservação ambiental, até bem pouco tempo atrás. No entanto, a ISO 9000 é, atualmente, uma realidade em quase todos os setores industriais. A ISO14000 também tem impulsionado empresas rumo à certificação ambiental, assim como a BS8800 e a SA8000 têm auxiliado na busca por melhores condições de saúde, segurança no trabalho e pela responsabilidade social.

Segundo Librelotto (2009), sustentabilidade é o princípio que assegura que nossas ações hoje não limitem o alcance das opções econômica, social e ambiental para as futuras gerações. Baseado neste conceito e no modelo SPC (Scherer e Ross,) o modelo ESA (LIBRELOTTO, 2009), utiliza a sustentabilidade em três dimensões:

- Dimensão social: envolve os preceitos da responsabilidade social e gestão de pessoas na estrutura - conduta - desempenho da indústria.
- Dimensão ambiental: associa a estrutura-conduta-desempenho da indústria à preservação do ecossistema ou minimização dos impactos das atividades industriais sobre este.

- Dimensão econômica: associa a estrutura–conduta–desempenho à garantia de retorno dos investimentos aos intervenientes do processo (proprietários, clientes, funcionários e comunidade em geral).

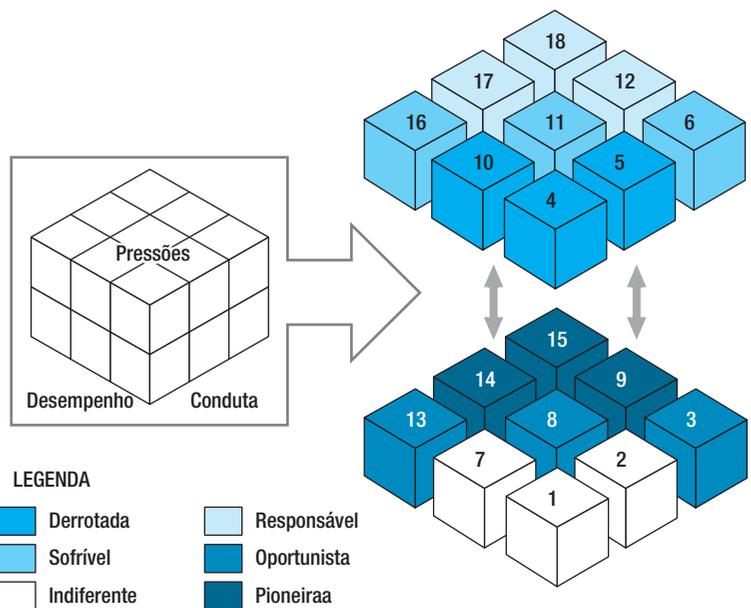
Considera-se que, para alcançar um desempenho sustentável, deve haver o equilíbrio entre o desempenho alcançado nas dimensões econômica, social e ambiental e o desenvolvimento de ações (condutas) para estas três dimensões, conforme a proposta de Elkington (1998, *apud* LIBRELOTTO, 2009). O desempenho de uma empresa, por exemplo, sofrerá influência das condutas adotadas, que por sua vez, são reflexo da estrutura da indústria na qual a empresa está inserida, das capacidades internas da organização e dos choques externos ocorridos sobre a estrutura industrial.

Originalmente desenvolvido para avaliar a sustentabilidade em empresas atuantes no setor da construção civil, o Modelo ESA tem sido adaptado para outros setores e utilizado em diferentes aplicações. Uma dessas adaptações refere-se à sua aplicação na avaliação da sustentabilidade de produtos.

A forma como deve ser realizado o correlacionamento das dimensões ESA (Econômica, Social e Ambiental) está expressa na Figura 6, através do cubo de avaliação da sustentabilidade. O posicionamento da empresa e ou produto será avaliado conforme a localização nos cubos, que identificam os estados transitórios definidos originalmente no modelo como derrotada, sofrível, responsável, indiferente, oportunista ou pioneira, conforme sua posição no cubo de correlação.

Existe uma tendência teórica de deslocamento do objeto da avaliação para os quadrantes nos extremos do cubo. No entanto, é difícil que o objeto se desloque da parte inferior do cubo para o superior ou vice-versa, sem que ocorra uma mudança nas condições de mercado.

Figura 6 – Avaliação do posicionamento das empresas.



Fonte: Librelotto (2009).

## 4. MÉTODO DE PESQUISA

Este item apresentará a aplicação do modelo ESA de sustentabilidade em modelos e protótipos desenvolvidos em projetos de *design* de produto. Quanto à adaptação do modelo ESA para o caso específico de modelos e protótipos, o eixo de desempenho avaliou o critério econômico da sustentabilidade; o eixo da conduta avaliou o critério ambiental da sustentabilidade e o eixo referente às pressões avaliou o critério social da sustentabilidade. A posição no cubo determinará o grau de “sustentabilidade” do modelo segundo uma abordagem ampla, contemplando as três variáveis: econômica, social e ambiental. Na verdade, assume-se que cada eixo (estrutura, conduta e desempenho) possui também um cubo de correlação no que se refere ao econômico, social e ambiental.

Para a realização dos experimentos práticos, utilizou-se dos trabalhos desenvolvidos na disciplina de Oficina I (Modelos e Protótipos), EGR 5511, da grade curricular do curso de *Design* de Produto. Foi escolhido aleatoriamente alguns modelos para teste e validação da adaptação original do modelo ESA, dos quais quatro foram mostrados neste artigo

Para o caso específico de análise de modelos / protótipos de *design* foi necessário uma adaptação das nomenclaturas utilizadas na modelo ESA original, aplicado na indústria da construção civil. Iniciando onde as pressões do mercado (que, neste caso, representa a questão social da sustentabilidade), são pequenas, tem-se:

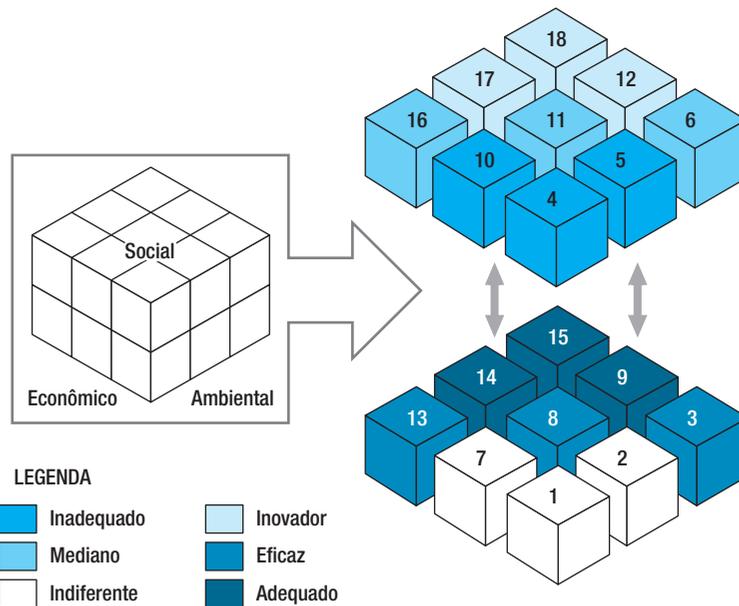
- o termo “pioneira” foi substituído por “adequado”, ou seja, representa um modelo e/ou protótipo construído dentro de princípios modernos de sustentabilidade, considerando-se os critérios econômico e ambiental, já que a questão social não é forte.
- o termo “oportunista” foi substituído por “eficaz”, que representa um modelo e/ou protótipo construído dentro do esperado do ponto de vista econômico e ambiental, em um ambiente social que não apresenta pressões demasiadas.
- o termo “indiferente” será mantido e representa um modelo e/ou protótipo construído em um ambiente com pouca ou nenhuma pressão do ponto de vista social, sendo nele usados materiais normais, sem a ocorrência de preocupação demasiada com os aspectos ambiental ou econômico dos materiais utilizados. No entanto, tanto do ponto de vista econômico quanto ambiental, não foram usados materiais muito caros ou comprovadamente nocivos, por exemplo, ou seja, o modelo não inova, mas também não compromete.

Onde as pressões de mercado são maiores, e por isso, as conseqüências equivocadas da escolha dos materiais dos modelos e/ou protótipos serão mais graves, tem-se as seguintes alterações:

- o termo “derrotada” foi substituído por “inadequado”, representando um modelo e/ou protótipo projetado e executado de forma incorreta, com custo muito elevado e utilização de materiais nocivos ao meio ambiente.
- o termo “sofrível” foi substituído por “mediano”, e representa um modelo e/ou protótipo que atende parcialmente à questão ambiental e econômica, em um ambiente onde as pressões sociais são elevadas, ou seja, é um modelo construído com materiais de preço elevado e de difícil reciclagem e/ou reaproveitamento, por exemplo.
- o termo “responsável” foi substituído por “inovador”, representando um conceito oposto ao inadequado. É um modelo construído com materiais pré-selecionados, representando uma boa inovação, atendendo aos requisitos de projeto de forma responsável.

Para a classificação dos modelos, os itens considerados para posicionamento do modelo no cubo do ESA foram definidos conforme listagem abaixo. Foram padronizados dois critérios para cada fator: material de confecção do modelo e processo de fabricação. O ESA ficou então representado conforme mostra a Figura 7.

Figura 7 – ESA adaptado para análise de modelos e/ou protótipos no *design*.



Fonte: Adaptado de Librelotto (2009).

A classificação do modelo e/ou protótipo segundo o modelo ESA considera como eixo x, o ambiental; eixo y, o social; e eixo z, o econômico. O primeiro passo da classificação é o posicionamento segundo a pressão social, sendo:

Eixo y: notas de 0,0 a 4,9, com possibilidades de modelos adequado, indiferente e eficaz.

Eixo y: notas de 5,0 a 10,0, com possibilidades de modelos inadequado, mediano e inovador.

Segundo passo da classificação: estabelecendo-se o posicionamento no eixo y (questão social fraca ou forte), as demais médias funcionarão como pares ordenados, sendo assim classificadas:

- 1) Indiferente: pressão social fraca, fator econômico de 0,00 a 6,65 associados com um fator ambiental de 0,00 a 6,65, observando-se que, se um dos fatores estiver no cubo 7 (Figura 7) o outro fator deverá ter média máxima de 3,32 e vice-versa;
- 2) Eficaz: pressão social fraca, um dos fatores (econômico ou ambiental) deverá estar com índice entre 6,67 a 10,00 ou ambos no mínimo entre 3,33 e 6,66;
- 3) Adequado: pressão social fraca com ambos os fatores devendo estar com nota mínima de 6,67;
- 4) Inadequado: mesma situação numérica que o modelo classificado como indiferente, porém aqui a pressão social é elevada;

- 5) Mediano: mesma situação numérica que o modelo classificado como eficaz, porém aqui a pressão social é elevada;
- 6) Inovador: mesma situação numérica que o modelo classificado como adequado, porém aqui a pressão social é elevada.

Os valores colocados nas planilhas classificatórias foram relacionados com os seguintes fatores:

- Econômicos:

1. Material de confecção do modelo: preço de aquisição do material (R\$), quantidade de material utilizado (kg), porcentagem de aproveitamento do material considerando dimensões comerciais disponíveis no mercado (%);
2. Processo de fabricação: quantidade de ferramentas necessárias (unidades); custo de energia elétrica (kwh x custo do kwh, em R\$), tempo de fabricação do modelo (minutos);

- Sociais:

1. Material de confecção do modelo: quantidade de fornecedores na região (unidade); disponibilidade do material – tempo de espera para efetivar a compra (dias); existência na região de materiais alternativos (de mesmo custo) na impossibilidade de uso do material de primeira escolha (sim ou não).
2. Processo de fabricação: geração de renda para a região, ou seja, se a matéria-prima empregada no modelo é fabricada na região (sim ou não); quantidade de empresas capazes de fabricar a matéria-prima empregada no modelo na região (quantidade); capacitação da mão-de-obra na região especializada na produção da matéria-prima empregada na fabricação do modelo (medida de observação qualitativa).

- Ambientais:

1. Material de confecção do modelo: possibilidade de reciclagem do material usado no modelo (% de material do modelo que pode ser reciclado); possibilidade de reaproveitamento do material usado no modelo (% de material do modelo que pode ser reaproveitado); origem da matéria-prima (virgem, reciclada ou mista).
2. Processo de fabricação: gasto energético total na fabricação do modelo (R\$); quantidade de subprodutos sem utilidade gerados no processo fabril (kg); quantidade de subprodutos que podem ser vendidos para reciclagem ou reaproveitamento gerados no processo fabril (kg).

Na aplicação do ESA, as notas foram atribuídas mediante comparações quantitativas e qualitativas com outros possíveis materiais que poderiam ter sido utilizados para a construção do modelo, respeitando-se aos requisitos técnicos e estéticos. Observa-se que, para efeito do proposto nesta pesquisa, o modelo desenvolvido em determinado material foi comparado com outros dois possíveis materiais. Limitou-se em dois somente para efeitos desta pesquisa, ressaltando-se, no entanto, que não existem limites determinados para uma aplicação prática. Para o preenchimento das planilhas utilizou-se a classificação mostrada no Quadro 2.

Quadro 2 – Classificação dos critérios segundo o ESA para análise dos modelos físicos.

Critérios econômicos		Critérios sociais		Critérios ambientais	
Critério	ESA	Critério	ESA	Critério	ESA
Preço de aquisição do material	E1	Quantidade de fornecedores na região	S1	Possibilidade de reciclagem do material usado no modelo	A1
Quantidade de material utilizado	E2	Disponibilidade do material – tempo de espera para efetivar compra	S2	Possibilidade de reaproveitamento do material usado no modelo	A2
% de aproveitamento do material considerando dimensões comerciais disponíveis no mercado.	E3	Existência, na região, de materiais alternativos (mesmo custo) na impossibilidade de uso do material de primeira escolha.	S3	Origem da matéria-prima	A3
Quantidade de ferramentas necessárias	E4	Geração de renda para a região	S4	Gasto energético total na fabricação do modelo	A4
Custo de energia elétrica	E5	Quantidade de empresas capazes de fabricar a matéria-prima empregada no modelo (na região)	S5	Quantidade de subprodutos sem utilidade no processo fabril	A5
Tempo de fabricação do modelo	E6	Capacitação da mão-de-obra na região especializada na produção da matéria-prima empregada na fabricação do modelo	S6	Quantidade de subprodutos que podem ser vendidos para reciclagem ou reaproveitamento	A6

Fonte: Elaborado pelos autores.

Observações a respeito do preenchimento dos quadros de aplicação:

- preço de aquisição do material: incluiu-se nesse quesito não somente o valor do material base, mas também materiais de apoio como tintas, lixas, massa acrílica, tecido, cola, etc.
- quantidade de material utilizado e porcentagem de aproveitamento considerando dimensões comerciais disponíveis no mercado: nestes quesitos considerou-se apenas o material base.
- no fator social, a região foi delimitada como a Grande Florianópolis, incluindo os municípios de Florianópolis, São José, Biguaçu e Palhoça.

## 5. APLICAÇÕES PRÁTICAS DO MODELO ESA EM MODELOS VOLUMÉTRICOS

Este item apresentará alguns modelos desenvolvidos em aulas práticas de oficina do curso de *design* da UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina, durante o segundo semestre de 2010. A autoria dos modelos e informações mais detalhadas sobre materiais e processos utilizados na fabricação podem ser encontradas em Ferroli e Librelotto (2011).

O primeiro modelo utilizado para teste de aplicação do modelo ESA foi desenvolvido em papelão tipo couro (pedra) pela técnica do empilhamento. A Figura 8 mostra o resultado final (modelo desenvolvido) e a Tabela 1 demonstra a aplicação (teste) do modelo ESA. Para o referido modelo, os materiais de comparação para aplicação do ESA foram gesso e argila.

Figura 8 – Etapa de construção do modelo e apresentação final.



Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela 1 – ESA aplicado ao modelo.

Aplicação do modelo ESA - Modelo 1														
Critérios econômicos				Critérios sociais				Critérios ambientais						
	Papelão	Gesso	Argila	Nota		Papelão	Gesso	Argila	Nota		Papelão	Gesso	Argila	Nota
E1	R\$ 28,00	R\$ 18,00	R\$ 12,50	2,00	S1	5	8	12	2,00	A1	100%	0%	0%	10,00
E2	250g	960g	1130g	9,00	S2	1	1	1	8,00	A2	100%	0%	30%	9,00
E3	55%	70%	45%	6,00	S3	vários	não há	poucos	9,00	A3	reciclada	mista	virgem	9,00
E4	9	7	7	7,00	S4	não	pouco	sim	2,00	A4	R\$ 3,22	R\$ 5,33	R\$ 5,49	8,00
E5	R\$ 0,35	R\$ 0,00	R\$ 0,11	4,00	S5	0	2	6	1,00	A5	20%	40%	55%	9,00
E6	322 min	214 min	336 min	6,00	S6	não há	pouco	regular	1,00	A6	80%	60%	45%	8,00
Média				5,67					3,83					8,83

Fonte: Dados da pesquisa.

Pela análise da planilha, a pressão social é baixa. Considerando-se então as demais notas obtidas, o modelo foi classificado como adequado.

Dentre vários modelos desenvolvidos, selecionaram-se alguns para demonstrar neste artigo. O segundo modelo escolhido foi também desenvolvido pela técnica de empilhamento, mas neste o utilizado foi o papel Paraná. A Figura 9 ilustra o processo de desenvolvimento do modelo. Para o modelo deste projeto, os materiais de comparação para aplicação do ESA foram massa tipo Clay e bloco de MDF. A aplicação do ESA no modelo está registrada na Tabela 2.

Figura 9 – Detalhes do desenvolvimento do modelo.



Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela 2 – ESA aplicado ao modelo.

Aplicação do modelo ESA - Modelo 2														
Critérios econômicos				Critérios sociais				Critérios ambientais						
	Papelão	Clay	MDF	Nota		Papelão	Clay	MDF	Nota		Papelão	Clay	MDF	Nota
E1	R\$ 15,00	R\$ 45,00	R\$ 33,00	9,00	S1	5	1	12	5,00	A1	100%	0%	100%	6,00
E2	320g	765g	890g	7,00	S2	1	1	1	8,00	A2	100%	0%	100%	6,00
E3	60%	78%	85%	7,00	S3	vários	não há	vários	7,00	A3	reciclada	virgem	mista	8,00
E4	7	1	4	7,00	S4	não	pouco	sim	2,00	A4	R\$ 1,80	R\$ 7,40	R\$ 2,20	6,00
E5	R\$ 0,67	R\$ 1,34	R\$ 0,87	6,00	S5	0	0	12	1,00	A5	20%	0%	10%	5,00
E6	280 min	110 min	145 min	6,00	S6	não há	não há	regular	1,00	A6	80%	100%	45%	7,00
Média				6,67					4,00					6,33

Fonte: Dados da pesquisa.

Pela análise da planilha, a pressão social é baixa. Considerando-se então as demais notas obtidas, o modelo foi classificado como adequado.

A Figura 10 mostra um modelo desenvolvido pela técnica de molde em silicone, seguida da confecção do modelo em resina de poliéster.

Figura 10 – Detalhamentos do modelo executado.



Fonte: Dados da pesquisa.

Os modelos azul e verde tiveram como pigmento tinta acrílica para tecidos; no modelo rosa foi usado como pigmento verniz para vitral; no preto, tinta acrílica, e no modelo vermelho, pigmento específico para resina. Para o modelo deste projeto, os materiais de comparação para aplicação do ESA foram massa tipo Clay e PU expandido. A aplicação do ESA no modelo está registrada na Tabela 3. Em todos os casos, o processo de fabricação incluiu as etapas de confecção do molde a partir de um produto existente e preenchimento do molde com resina de poliéster, massa Clay e PU.

Tabela 3 – ESA aplicado ao modelo.

Aplicação do modelo ESA - Modelo 3														
Critérios econômicos					Critérios sociais					Critérios ambientais				
	Resina	Clay	PU	Nota		Resina	Clay	PU	Nota		Resina	Clay	PU	Nota
E1	R\$ 86,00	R\$ 110,00	R\$ 75,00	7,00	S1	2	1	2	5,00	A1	0%	0%	0%	5,00
E2	120g	310g	76g	6,00	S2	1	1	1	5,00	A2	0%	0%	30%	6,00
E3	90%	90%	85%	7,00	S3	vários	não há	poucos	9,00	A3	virgem	virgem	virgem	5,00
E4	8	7	7	7,00	S4	não	pouco	poucos	5,00	A4	R\$ 4,70	R\$ 6,40	R\$ 5,49	7,00
E5	R\$ 2,76	R\$ 3,30	R\$ 4,00	4,00	S5	0	0	2	4,00	A5	0%	0%	55%	4,00
E6	156 min	146 min	187 min	7,00	S6	não há	não há	regular	5,00	A6	0%	100%	45%	5,00
Média				6,33					5,50					5,33

Fonte: Dados da pesquisa.

Pela análise da planilha, a pressão social é alta. Considerando-se então as demais notas obtidas, o modelo foi classificado como mediano.

A Figura 11 mostra o modelo desenvolvido pela técnica de empilhamento de papelão tipo couro. Para este modelo, os materiais de comparação para aplicação do ESA foram bloco de PU e madeira balsa. A Tabela 4 mostra a aplicação do ESA.

Figura 11 – Etapas construtivas do modelo.



Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela 4 – ESA aplicado ao modelo.

Aplicação do modelo ESA - Modelo 4														
Critérios econômicos				Critérios sociais				Critérios ambientais						
	Papelão	Balsa	PU	Nota		Papelão	Balsa	PU	Nota		Papelão	Balsa	PU	Nota
E1	R\$ 19,00	R\$ 56,00	R\$ 67,00	9,00	S1	5	4	2	7,00	A1	100%	100%	0%	5,00
E2	430g	90g	120g	2,00	S2	1	1	1	5,00	A2	100%	100%	30%	5,00
E3	60%	70%	85%	5,00	S3	vários	poucos	poucos	9,00	A3	reciclada	mista	virgem	5,00
E4	7	9	7	6,00	S4	não	poucos	poucos	5,00	A4	R\$ 3,45	R\$ 9,00	R\$ 3,44	6,00
E5	R\$ 1,10	R\$ 1,90	R\$ 4,20	6,00	S5	0	1	2	4,00	A5	20%	100%	55%	2,00
E6	260 min	340 min	195 min	5,00	S6	não há	não há	regular	6,00	A6	80%	100%	45%	5,00
Média				5,50					6,00					4,67

Fonte: Dados da pesquisa.

Pela análise da planilha, a pressão social é alta. Considerando-se então as demais notas obtidas, o modelo foi classificado como mediano.

Mediante o estudo de caso apresentado, percebe-se que o modelo ESA adaptado para análise de modelagem física em *design* de produtos pode trazer boas informações para que o *designer* possa analisar, do ponto de vista da sustentabilidade, o modelo gerado. Consequentemente, essa análise pode ser ampliada para o escopo de todo projeto, abrangendo todo o ciclo de vida do produto.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através das análises decorrentes da presente pesquisa, viu-se que a escolha dos materiais utilizados na confecção de modelos físicos e/ou protótipos utilizados em *design* de produtos é mais do que a consideração de atributos técnicos e produtivos. Um bom produto precisa atender a necessidades de todos os grupos de usuários, envolvendo aspectos produtivos, econômicos, ergonômicos, sociais, ambientais e estéticos, e os materiais adequados a esse modelo devem estar em conformidade com estes aspectos.

O modelo ESA, originalmente concebido para aplicação na construção civil, pode ser adaptado a contento no intuito de fornecer aos *designers* um modo quantitativo/qualitativo de avaliar a sustentabilidade nas dimensões econômica, social e ambiental.

Pela aplicação vista, pode-se enumerar as seguintes considerações:

- a adaptação do modelo ESA desenvolvido por Librelotto (2009) mostrou-se satisfatório para análise dos modelos físicos e/ou protótipos em *design*, permitindo uma abordagem global da sustentabilidade;
- o preenchimento correto das planilhas originadas é muito importante. Devido à natureza das variáveis, pequenas oscilações podem alterar o posicionamento do modelo/protótipo no cubo de classificação, podendo ocasionar conclusões precipitadas e incorretas;
- é necessário um novo estudo propondo ponderação das variáveis sob a forma de pesos, testando-se a ferramenta GUT (Gravidade – Urgência – Tendência) para que se possam analisar caso a caso as particularidades de cada modelo/protótipo.

Como recomendações para futuros trabalhos, deve ser observado que o modelo ESA foi constituído objetivando uma aplicação na construção civil. Os autores desse artigo perceberam no ESA uma potencialidade para analisar a sustentabilidade de qualquer produto. Há de se considerar, no entanto, as características próprias de cada setor. Devido a isso, o modelo ESA adaptado para uso em produtos de *design*, deve ser testado com mais profundidade. Também é necessária, antes de aplicações profissionais, a elaboração de um conjunto de diretrizes que possam orientar o *designer* (ou equipe de projeto) a melhor posicionamento das variáveis econômicas, sociais e ambientais no modelo gráfico do ESA.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BACK, N.; OGLIARI, A.; DIAS, A.; SILVA, J. C. **Projeto Integrado de Produtos** – Planejamento, Concepção e Modelagem. Barueri: São Paulo, 2008.

BAXTER, M. **Projeto de Produto**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 2000.

CALISTER Jr. **Fundamentos da Ciência e Engenharia de Materiais** – Uma abordagem integrada. 2 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006.

FERROLI, P. C. M. MAEM-6F (**Método Auxiliar para Escolha de Materiais em Seis Fatores**): Suporte ao design de produtos industriais. São Paulo: Blucher Acadêmico, 2009.

FERROLI, P. C. M.; LIBRELOTTO, L. I. **Modelagem Física com Instrumento de Análise da Sustentabilidade no Design de Produtos**. (relatório de pesquisa). EGR-CCE-UFSC, 2011.

HARRINGTON, J.; HARRINGTON, H. **Gerenciamento Total de Melhoria Contínua**. São Paulo: MkBooks, 1998.

LIBRELOTTO, L. I. **Modelo para Avaliação de Sustentabilidade na Construção Civil nas Dimensões Econômica, Social e Ambiental (ESA)**: Aplicação no setor de edificações. São Paulo: Blucher Acadêmico, 2009.

LOFFY, R. **Lob-Lan**: mobiliário para lanhouse. Balneário Camboriú: UNIVALI – Design Industrial, 2005.

MANZINI, E.; VEZZOLI, C. **O Desenvolvimento de Produtos Sustentáveis** – Os requisitos ambientais dos produtos industriais. São Paulo: EdUSP, 2008.

PAHL, G.; BEITZ, W.; FELDHUSEN, J.; GROTE, K. **Projeto na Engenharia** – Fundamentos do desenvolvimento eficaz de produtos, métodos e aplicações. São Paulo: Edgard Blücher, 2005.

PAULI, G. **Emissão Zero**: A Busca de Novos Paradigmas. Porto Alegre: EDIPUCRS, 1996.

PENNA, E. **Modelagem** – modelos em Design. São Paulo: Catálise, 2002.

ROZENFELD, H.; FORCELLINI, F. A.; AMARAL, D. C.; TOLEDO, J. C.; SILVA, S. L.; ALLIPRANDINI, D. H.; SCALICE, R. K. **Gestão de Desenvolvimento de Produtos** – Uma Referência para a melhoria do processo. São Paulo: Saraiva, 2006.

SANTOS, F. A. N. V. **O Design como Diferencial Competitivo**. Itajaí: Ed. UNIVALI, 2000.

SANTOS, F. A. N. V. MD3E (**Método de Desdobramento em Três Etapas**): Uma Proposta de Método Aberto de Projeto para Uso no Ensino de Design Industrial. Florianópolis: SC, PPGEP-UFSC 2005.

